

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AA

(11)Publication number : 2000-244393

(43)Date of publication of application : 08.09.2000

(51)Int.Cl.

H04B 10/00

H04J 1/00

H04L 27/18

H04N 7/22

(21)Application number : 11-357170

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 16.12.1999

(72)Inventor : CHAND NARESH  
THOMAS HENRY DOHERTY  
PETER D MAJIRU  
VENKATARAMAN SUWAMINASAN

(30)Priority

Priority number : 98 112480  
99 432936

Priority date : 16.12.1998  
03.11.1999

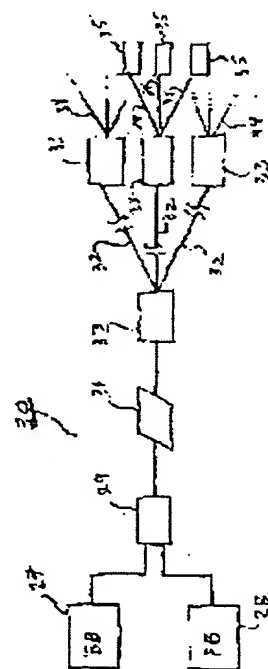
Priority country : US  
US

(54) OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM FOR CONNECTING BOTH SIGNALS IN SPEECH BAND AND BASE BAND

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a new communication system supplying a multi-channel broadcast digital service to each user by a broadcast video signal superposed on a speech band higher than a digital base band 155 Mbps signal.

SOLUTION: An electric output obtained by combining a base band signal from a base band source 27 and a signal from a speech band source 28 by a system generating no overlapping of frequency in both of them by a diplexer 29 is convert-formed to be an optical signal by a laser transmitter 31 e.g. to send to an optical output splitter 33 through an optical transmission fiber 32. The splitter divides the sent signal into plural optical signals each similar with respect to the spectrum and sends them to each optical receiver 35 of an end user through a fiber 35. The optical receiver detects both of the base band signal impressed to incoming light and a speech band signal and demodulates them. Thus, a desired service is provided to a user by one transmitter, a single fiber path and one receiver.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.07.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-244393

(P2000-244393A)

(43) 公開日 平成12年9月8日(2000.9.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 4 B 10/00		H 0 4 B 9/00	C
H 0 4 J 1/00		H 0 4 J 1/00	
H 0 4 L 27/18		H 0 4 L 27/18	E
H 0 4 N 7/22		H 0 4 N 7/22	

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-357170

(22) 出願日 平成11年12月16日(1999. 12. 16)

(31) 優先権主張番号 60/112480

(32) 優先日 平成10年12月16日(1998. 12. 16)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/432936

(32) 優先日 平成11年11月3日(1999. 11. 3)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596092698

ルーセント テクノロジーズ インコーポレーテッド

アメリカ合衆国, 07974-0636 ニュージャージー  
イー, マレイ ヒル, マウンテン ア  
ヴェニュー 600

(72) 発明者 ナレシュ チャンド

アメリカ合衆国 07922 ニュージャージー  
イー, パークレイ ハイッ, パーク アヴェ  
ニュー 461

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

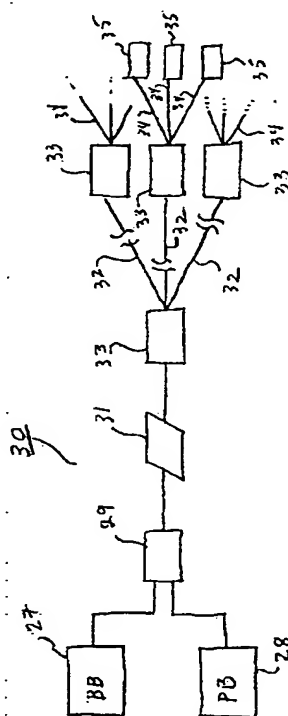
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通話帯域とベースバンド双方の信号を結合する光通信システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 デジタルベースバンド155Mbps信号以上の通話帯域に乗せた放送ビデオ信号で、各ユーザに多チャンネル放送デジタルサービスを供給する新たな通信システムを提供する。

【解決手段】 ベースバンドソース27からのベースバンド信号と、通話帯域ソース28からの信号を、ダイプレクサ29により双方に周波数の重なりが生じない方式で結合した電気出力を、例えばレーザー送信機31により光信号に変換形成して、光伝送ファイバ32を經由し、光出力スプリッタ3.3に伝送する。スプリッタは伝送されてきた信号を複数のスペクトル的に類似の光信号に分割し、エンドユーザの各光受信機35へ、ファイバ35経由で伝送する。光受信機は着信する光に印加したベースバンド信号と通話帯域信号の双方を検出し復調する。この様に1台の送信機と単一ファイバ路、1台の受信機によりユーザに目的のサービスを提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 共通の光伝送ファイバ上でベースバンドと通話帯域双方の信号を伝送する光通信システムであって、

電氣的ベースバンド信号のソースと、

放送サービスのために変調した電氣的通話帯域信号のソースと、

前記ベースバンドと前記通話帯域の信号を電氣的に結合するため、各前記ソースに接続した電氣的コンバイナと、

前記ベースバンド信号の情報を少なくとも155Mbpsの速度で取り込み、前記通話帯域信号の情報を取り込む光信号を送信するための、前記電氣的コンバイナに電氣的に接続したレーザ送信機と、

前記光信号を伝送するための、前記送信機に光学的に接続した光伝送ファイバと、

前記ベースバンドと前記通話帯域双方の信号を受信するための、前記伝送ファイバに光学的に接続した少なくとも一台の光受信機を備える光通信システム。

【請求項2】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、前記電氣的コンバイナがダイプレクサを備える光通信システム。

【請求項3】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、さらに、複数のエンドユーザに分配するために、伝送されてきた前記光信号を複数のスペクトル的に類似する光信号に分割すべく前記光伝送ファイバに光学的に接続した光出力スプリッタを備える光通信システム。

【請求項4】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、前記レーザ送信機が半導体レーザを備える光通信システム。

【請求項5】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、前記レーザ送信機がデジタル・レーザを備える光通信システム。

【請求項6】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、前記レーザ送信機が分布帰還型レーザを備える光通信システム。

【請求項7】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、さらに、前記ベースバンドと前記通話帯域双方の信号を受信するための、前記伝送ファイバに光学的に接続した光受信機を備える光通信システム。

【請求項8】 請求項6に記載の光通信システムにおいて、前記光受信機がPINダイオードを備える光通信システム。

【請求項9】 請求項6に記載の光通信システムにおいて、前記光受信機がアバランシェ光検出器(APD)を備える光通信システム。

【請求項10】 請求項1に記載の光通信システムにおいて、前記通話帯域信号がM-QAM変調され、 $M \geq 4$ なる関係がある光通信システム。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムに関し、特に共通の光ファイバを介しベースバンド(基底帯域)信号と通話帯域信号の双方を伝送する光通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術、及び、発明が解決しようとする課題】<関連出願への相互参照>本出願は、1998年12月12日付けの、本出願人の米国仮出願第60/112,480号の利益を主張する。

【0003】今日たゆまず拡大を続ける通信の必要性は音声伝送、データ伝送、高速インターネット・アクセス、ビデオ会議、ビデオ・オン・デマンド、小規模企業体と住宅への放送テレビジョン・ビデオの伝送のようなマルチメディア・サービスを提供することである。このようなネットワークを発展させる上でコストは重要な問題である。現時点で利用し得るものであり、展開が進行している様々な技術にあって、ユーザにまでの広がりをもつ光ファイバ、即ち家庭までへの光ファイバ(FTTH)は、現在と将来の需要に適合する好ましい技術である。サービス・プロバイダはコストの許す範囲でプロバイダに深く光ファイバを組み入れつつある。

【0004】家庭と企業体に情報を伝達するために二種類の異なる光ファイバ通信システムが発展してきた。一方のシステムはディジタル変調した一連の光パルスにより情報を伝送する。これらの光パルスはベースバンド信号として照会される。第二のシステムでは、複数の周波数分離した搬送波が使用される。各搬送波は変調して高次のディジタル信号を伝送する。これらは通話帯域信号である。各システムは、独自の専用装置と、物理的プラントと、規格を有する。

【0005】図1Aは、複数の家庭12と企業体13に光ファイバを接続する中央局11からなるベースバンド・システム10を略図で解説する。高出力光信号は単一、あるいは複数波長で複数のアクセス・ファイバ15A、15B、15Cから各光出力スプリッタと、または波長多重分離装置16A、16B、16Cに伝送され、各出力スプリッタまたは多重分離装置、例えば、16Bでは高出力信号は複数の低パワー信号、または分離波長信号に分割され、各複数のエンドユーザ・ファイバ17A、17Bを介し伝送される。これらの信号は下流方向信号と呼ばれる。下流方向信号は通常、1.3~1.6 $\mu$ mの波長帯域を中心としたもので、ディジタル変調したベースバンドの連続した光パルスである。上流方向信号と呼ぶエンドユーザから中央局への信号は通常、同じ波長帯域1.3~1.6 $\mu$ mのディジタル変調したベースバンド・パルスであるが、下流方向信号波長と異なる波長で同一ファイバから逆方向に伝送される。上流方向信号はパワースプリッタ、例えば、16Bでのバースト伝送に備えて緩衝調整し、時分割多重化することができ

る。このシステムでは能動的ないかなる電子構成部品または光構成部品も中央局とユーザとの間に使用されないため、受動的な光ネットワーク (PON) と呼ばれる。

【0006】図1Bに単純化したベースバンド変調の構成を説明する。通常、デジタル1は連続した光パルスの一つで表される。デジタル0は、パルス位置にあるべきパルスの欠如で表される。代わって、デジタル0を表す一つのパルスが存在し、1を表すそのパルスが欠如する形で信号を反転させることができる。

【0007】図2Aは、ハブ21と、ハブを各複数のファイバ・ノード23A、23B、23Cに接続する複数のファイバ22A、22B、22Cとを備える通話帯域システム20の略図で解説する。各ノードは複数のファイバ、または同軸ケーブル24A、24Bを用いて行われるように複数の家庭12と企業体13とに接続する。

【0008】図2Bは、通常のデジタル変調通話帯域信号の無線周波数スペクトルである。その信号は周波数で間隔をあけた (例えば、NTSCシステムでは6MHz間隔) 複数の異なる無線周波数 (RF) 搬送波から成る。各搬送波は複数の状態間で変調し、変調状態毎に複数のビットを符号化する高次のデジタル信号を伝送する。その変調は振幅変調、周波数変調、位相変調、またはこれらを結合することができる。

【0009】デジタル通話帯域信号は周波数をロックしているが、位相を90度外した二つのRF搬送波を便宜上使用して伝送する。その二つの搬送波は直角位相にあると呼ばれる。二つの搬送波は個別に振幅変調 (AM) し、変調した搬送波は結合し、それらのベクトル総和に対応する振幅情報とベクトル角度に対応する位相情報の双方をもつ一つのRF出力を形成する。その技術は直角位相振幅変調またはQAMとして公知である。

【0010】図2Cは、各搬送波が僅かに二つの状態 (例えば、+Vと-V) のみを有するときに行われるQAMの最も簡単なケースを解説する。一方の搬送波は基準搬送波と考えられ、同相チャンネル搬送波と呼ぶ。その振幅は図2Cの縦軸に沿って表される。90度位相外れの他の搬送波は直角位相チャンネル搬送波と呼ぶ。その振幅は横軸に沿って表される。図から分かるように、各搬送波に二つの状態 (+V, -V) があれば、四つの可能な結合出力があり、その各々は二ビットの情報 (0, 0)、(0, 1)、(1, 0)、(1, 1) を表すことができる。この単純な変調構成は直角位相シフトキー操作 (QPSK) として公知である。

【0011】類似する変調構成はより大きな数の状態間での搬送波の振幅変調に準拠させることができる。例えば、両搬送波が四つの振幅間で変調できれば、結合出力は $4 \times 4 = 16$ 個の状態を表すことができ、その変調を16QAM変調と呼ぶ。 $8 \times 8 = 64$ 個の状態を用いた変調は64QAMである。

【0012】過去数年間、既存のものと、将来のサービ

スを提供するため家庭および企業体までの全行程にわたるファイバの延長を目指した共通仕様の確立のためサービス・プロバイダとシステム・メーカーからは国際的な努力が払われた。これらの仕様は国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) 規格G. 983. 1の一部となっている。

【0013】G. 983. 1によれば、総てのサービスは出力スプリッタ準拠システムの上流方向と下流方向の双方にベースバンド・フォーマットで伝送される。ひとつの変形ネットワークにあつては、共用155Mbpsベースバンド信号は1.5μm帯域で下流方向に伝送され、同じビット速度のベースバンド信号が一つのファイバ上の1.3μm帯域で上流方向に伝送される。コストを低くするため、ファイバがユーザの構内にまで達しているのであれば、中央局に設けた一台の送信機と、一つのファイバで最大32のユーザに伝送サービスの提供ができる。受信機が一般家屋に設けられ、電気信号が多数の住宅に伝送されるのであれば、ユーザの数は一層大きくなる。G. 983. 1仕様では少なくとも20kmの最小論理範囲とその範囲に一致する光パワーの予算が要求される。ビット誤り率 $< 10^{-10}$ での指定された下流方向受信機の感度は分類Bの運用では-30dBm、分類Cでは-33dBmである。

【0014】32のエンドユーザ間に共用される155Mbpsの下流方向容量は、音声伝送、データ伝送、あるいは対話型ビデオのような対話型サービスには妥当値以上であるが、マルチチャネル放送ビデオ、特に高品位テレビジョン (HDTV) の伝送が行われるのであれば直ちに涸渇する。G. 983. 1での放送ビデオの伝送に従事するための一つの解決法は下流側帯域幅を155から622Mbpsに拡大することである。この解決策は非常に経費が高み、ビデオ・チャンネルのスイッチング操作を複雑にする。代わって、ビデオ信号は単独の送信機と単独の受信機を使用し個別のファイバを介して伝送することができる。この解決策は一層高い経費になる。従って、小規模企業体と住宅にマルチメディア・サービスを供給するには新たな解決策が必要とされる。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、デジタル・ベースバンド155Mbps信号以上の通話帯域に乗せた放送ビデオ信号で各ユーザにマルチチャネル放送デジタル・サービスを供給する新たな通信システムである。システムは各加入者に1Gbps以上の付加的帯域幅信号を伝送することができる。通話帯域の帯域幅は、ビデオ・オン・デマンドと、改良を加えたストリーミング方式の音声とビデオの伝送を含む高速ウェブ・ダウンロードと、HDTVと、対話型ビデオと、個人宛のビデオとを含む下流方向伝送サービスの増大に供される。本発明が各ユーザ、あるいはグループ・ユーザに対し求め

10

20

30

40

50

るのは僅かに一台の受信機と、一つの送信ファイバと、一台の光受信機に過ぎない。送信機、単一ファイバ、受信機で構成するシステムは一方がベースバンド信号伝送し、他の一方が通話帯域信号を伝送する構成の二つのシステムより遙かに経費が安い。受信機が一台であることは家庭までの経済的なファイバを達成するにはコスト面で大きく有利である。

【0016】本発明の効果は、G. 983. 1に述べたシステムにデジタル・ビデオの伝送と、他の帯域幅要求の伝送サービスが加えられることであるが、本発明は仕様または必要条件がG. 983. 1と異なる他のシステム構造にも利用ができる。例えば、上流方向または下流方向データ速度と光波長および必要とされる受信機感度とビット誤り率は異なる。本発明はそれぞれ一台の送信機と受信機を用い一つのファイバ上で行われるベースバンド信号と通話帯域信号の二点間伝送にも利用ができる。さらに、光受信機、またはONTはユーザの構内に設ける必要はない。それは一般家屋外部に設けることができ、そこから、「光ファイバ加入者線(FTTC)」として一般に公知なシステム構造において銅の撚り線、あるいは同軸ケーブル上にその受信機(ONT)を共用する加入者にベースバンドと通話帯域の信号サービスを伝送できる。銅の撚り線の場合、そのサービスは従来のデジタル加入者線路技法を用いて伝送することができる。同軸ケーブルでは、ハイブリッドファイバ同軸ケーブル(HFC)技術が採用される。

【0017】例示としての実施形態にあって、光通信システムはベースバンド信号と通話帯域信号を電子的に結合するダイプレクサと、結合した信号を含む光信号を形成するデジタル・レーザ送信機と、光信号を送信するある長さをもつ光送信ファイバと、各ユーザまたはグループ・ユーザに対するもので、ファイバに光学的に結合した光受信機とを備える。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の利点、性質および種々の他の特徴は、添付図面に関連し解説した例示としての実施形態の考察で一層完全に明らかになるだろう。各図面は本発明のコンセプトを説明するためのものであって、グラフを除き、正確な縮尺図ではないことを理解されたい。図1、図2は、従来のベースバンド・システムと従来の通話帯域システムに関連したもので、発明の属する技術分野で解説される。

【0019】図3は、一つまたはそれ以上の共通の光伝送ファイバ32上にベースバンド信号と通話帯域信号の双方を伝送する例示としての光通信システム30の概略ブロック図である。実質的にシステム30はベースバンド・ソース27からの電気的ベースバンド信号と、通話帯域ソース28からの電気的通話帯域信号を受信するダイプレクサ29のような電気的コンバイナを備える。ダイプレクサ29はこれらの信号をベースバンドと通話帯

域の信号に周波数の重なりが生じないように方式で結合する。そのダイプレクサは両入力信号の情報を含む結合した電気的出力信号を形成し、この結合した電気的信号をレーザ送信機31、好ましくは分布帰還(DFB)レーザのような半導体デジタルレーザに送る。

【0020】送信機31は、入力ベースバンド信号と入力通話帯域信号双方の情報を含む光出力信号を形成する。光出力信号は一つまたはそれ以上の光伝送ファイバ32上を一つ、あるいはそれ以上の光出力スプリッタ33の入力部まで伝送される。本来、各出力スプリッタ33は伝送されてきた信号を複数のスペクトル的に類似する光信号(より低い光学的エネルギーを持つ信号であってもよい)に分割し、エンドユーザの構内、または近傍(一般家屋における)のいずれかの各光受信機35への伝送に備え複数のエンドユーザのファイバ34上にこれら類似する信号を出力する。少なくとも一つの光受信機35は着信する光に印加したベースバンド信号と通話帯域信号の双方を検出し、復調することができる。こうして、一台の信号送信機と、一つのファイバ路と一台の受信機は単一ユーザ(FTTH)、あるいはグループ・ユーザ(FTTC)にサービスの提供ができる。

【0021】図4A、図4B、図4Cは、図3に記載するシステムにおける送信機31の動作説明に便利なもので、相互に関連させて提示した解説グラフである。図3Aは、レーザの電流に対する光出力特性の品質上のグラフである。この特性には光出力が電流入力に比例する直線領域A-A'が含まれる。

【0022】図4Bは、ダイプレクサ29からの結合信号に対する時間の関数として形成される電流に付いての品質上のグラフである。ベースバンド信号Bは一定な繰り返し速度での急激な電流変化として識別できる。通話帯域信号Pはベースバンド信号変動相互間での小さな振幅振動である。結合信号が形成する電流の範囲がレーザのA-A'直線領域内に収まるよう図4Aに示すように、レーザ送信機31にバイアスを与えるべきである。

【0023】図4Cは、ダイプレクサ29からの結合信号が形成する電流に対するレーザ送信機31の応答を品質面で解説している。理解されるように、光出力は電流入力に比例する。

【0024】送信機31は、中央局に設備されることになり、エンドユーザの受信機35には従来のベースバンド・システムに適用されるものに似た方式でエンドユーザから中央局への上流方向に情報を伝送する地域光送信機を有利な状態で含めることが十分に考えられる。

【0025】図5は、エンドユーザに対するもので、有利な光受信装置35を概略的に解説したものである。その装置はエンドユーザ・ファイバ34から伝送されてきた結合光信号を受信する光多重変換装置50を備える。結合信号はPINダイオードのような受信素子51に印加され、その結果得られる結合信号は前置増幅器52に

送られる。前置増幅された結合電氣的信号は次いでダイプレクサ53によってそのベースバンド部分と通話帯域部分に分割される。

【0026】システム30の一実施形態にあって、ベースバンド信号はITU工業規格G. 983. 1のパワー予算と他の仕様に合致するディジタル変調時分割多重化(TDM) 155Mbpsベースバンド信号である。通話帯域信号は1Gbps通話帯域信号以上の直角位相シフトキー操作(QPSK)周波数分割多重化(FDM)信号である。光送信機31はダイプレクサ内で電氣的入力信号を結合し、結合した電氣的信号は閾値以上にdcバイアスさせた1.55μmDFBμmディジタル・レーザにより光信号に変換される。光伝送ファイバ32は従来の単一モード・ファイバである。光出力スプリッタは1×32スプリッタにすることができ、エンドユーザの光/電受信機35はPINダイオード受信機、あるいはAPD受信機で構成することができる。

【0027】ここで、本発明は以下の特定な例とテストを考慮することで一層よく理解されよう。当該技術に精通した人々を対象にした例とテストにあっては、採用した頭字語を初めて使用する際に、かつ本出願書の最終部に設けた定義部分では詳述される。以下の例は説明のためのものにすぎない。例は本発明に制約を加えるものとして考えてはならない。

【0028】<例>この例は、本発明の実行可能性を論証することを目的とする。前文の説明に組み合わせた実験上の詳細には各種のあり得る要素と方法の利点が示される。

【0029】図6はテスト装置を概略的に解説したもので、衛星通信受信用ディッシュ(放物面反射器)60、61によって受信する信号から誘導される通話帯域信号と、送信機62からのベースバンド信号はダイプレクサ40で電子的に結合される。結合された電氣信号はレーザ送信機41により光信号に変換され、その結果得られる光信号は共通のファイバ32から出力スプリッタ33に伝送される。スプリッタのアームからは受信した光信号の一部が光/電(O/E)受信機35に伝送される。その結果得られる電氣信号が終局的に使用されテレビジョン受信機64にビデオが提示される。採用される特定の通話帯域信号と実行するテスト(本発明を用いた現実のシステムに関するものではない)に関連する電氣的結合回路をこれらのテストに関連し解説することにする。

【0030】G. 983. 1における近似的パワー割当てに対するパワー割当て要求を最小化するために、通話帯域信号のQPSK変調を採用した。QPSKでは他の高次直角振幅変調(M-QAM)、あるいは残留側波帯変調(VSB)に比較し最小の信号対雑音比(SNR)が要求される。アバランシェ光検出器(APD)型受信機は16-QAMでの動作を認めることができる。PINダイオードに準拠した受信機に求められる感度ではQ

PSKが必要になることがある。通話帯域RF搬送波はビデオ信号、データ信号および音声ベースバンド信号でディジタル変調ができる。

【0031】1Gbpsより大きい伝送容量で通話帯域QPSK信号の伝送を説明するため、ヒューズ(Hughes)(Direct TV)ディジタル衛星サービス(DSS)からの信号を使用した。DSS信号は、直径46cmの衛星通信受信用ディッシュ内部の低雑音ブロック・コンバータに次いで950~1450MHzの同一周波数範囲での二つの直交円偏波で多重化した150~200MPEG2/QPSKチャネル(運行内容によって決まるチャネル当たり3~6Mbps)を伝送する。各偏波は~30MHz周波数分離をし、搬送波毎に24MHzの帯域幅をもつFDMを用いた16個のディジタル搬送波を備える。各搬送波は~40Mbpsペイロードを伝送し、従って、合計スループット1.28Gbpsが伝送される。DSSでは~8から9dBcまでの符号化利得に対し接続したリード・ソロモン(Reed Solomon)コードと畳み込み順方向誤り補正(FEC)コードが使用される。

【0032】一極性(例えば、ディッシュ61からの信号の)をダウン・コンバータ65の内部で950~1450MHzから270~770MHzまで下方向に変換し、それをコンバイナ66の内部で950~1450MHzの別極性に多重化することによって未使用の770~950MHzを含む270~1450MHz以内のDSS規格チャネルの総てを伝送するディジタル・ビデオ信号を形成した。270~770MHzの範囲が実験装置に使用されたが、この周波数範囲に対するダウン・コンバータとアップ・コンバータが商業的に求め得るためである。未使用のRFスペクトルにあっては、860MHzを中心としたQPSK変調RFテスト信号が送信機67によって付加された。そのテスト信号はQPSK衛星モデムで形成した。BERテストにはファイヤバード6000A通信分析器を使用した。分析器から、後に周波数860MHzにアップ変換された周波数70MHzを中心とした変調信号を形成するQPSKモデムまで8Mbpsの速度で $2^{23}-1$ のパターン長さに疑似ランダムデータ・ストリームを使用した。QPSKモデムでは何等かのFEC符号化の中断が認められ、あるいはリード・ソロモン(R-S)ブロック符号化を伴う、あるいは伴わないViterbi符号器による畳み込み符号化の適用が許された。付加ビットを最小に維持するため、伝送は符号化によらないテストをし、かつ(110, 96)R-S符号化による、あるいはそれによらない7/8畳み込み符号化でテストした。7/8畳み込みと符号化と(110, 96)R-S符号化の双方でのデータ速度8Mbpsは~10.5Mbps(即ち31%の付加率)の合計ビット速度に帰結し、QPSK変調の場合の6MHz以下の帯域幅を占める。これによりアナログビ

デオ・チャネル搬送波に使用する6MHzの標準帯域フィルタの採用が許容された。ダイプレクサへの入力部におけるQPSKテスト信号を含むFDMビデオ信号の合計RFパワーは4.3dBm、または2.7mWであった。このパワーで50Ω負荷を駆動すると、ピーク・ピーク電流の振れは21mAであった。多重化し、変調した信号はレーザ送信機41によって光信号に変換される。

【0033】FDMビデオ通話帯域はダイプレクサ40を介しパターン長さが $2^{23}-1$ の155.52Mbps疑似ランダムNRZベース・バンド・データ・ストリームに多重化した。データ・パルスのピーク・ピーク振幅は1.5V、または30mAであった。このストリームはG.983.1に使用され、ベースバンドで変調した時分割多重化(TDM)ベースバンド信号に対応し、ベースバンドまたはTDM信号と呼ぶことにする。ベースバンドと通話帯域の信号はダイプレクサ40を用いて多重化した。出力コンバイナの代わりにダイプレクサを使用する利点はベースバンドと通話帯域の信号相互間の漏話(-60dBc)が無視できることと、各信号に対する挿入損が小さい(〜0.5dBc)ことである。

【0034】そこで、1.55μmDFBデジタル・レーザにその15.5mA閾値電流以上のdc電流でバイアスをとった後、そのデジタル・レーザ信号を直接変調するためベースバンドTDM/通話帯域FDM結合信号をE/O送信機41に使用した。レーザの熱電冷却は採用しなかった。期待どおり、測定したシステム性能はレーザ・バイアス条件とTDMデータ信号およびFDMビデオ信号の出力レベルに対し大変敏感であることが確認された。これらはベースバンド・データに対する消光比rと光変調指数mに影響する。(消光比はNRZ 1ビットおよび0ビットにおける平均光パワーの比として定義される。光変調指数(OMI)は光変調信号パワーと通話帯域に対する平均光パワーとの比として定義される。)

【0035】レーザのバイアスはベースバンドTDMデータ信号と通話帯域FDMビデオ信号に影響する。最適バイアス電流以下ではロジック1ビットと0ビット相互間での振れが小さくなり、レーザ・ターンオン遅延とクリッピングが導入され波形に歪みが生じる。過大なバイアス電流はベースバンド信号に対する消光比rと通話帯域信号に対する変調指数mの双方をそれぞれ減少させる。これでSNRが減じられ、従って、両タイプの信号に対するO/E受信機の感度が損なわれる。かくして、最適なレーザ・バイアスは最適なシステム性能にとって重要である。

【0036】ベースバンド信号と通話帯域信号の同時伝送に備え、レーザ・タイプに準拠し、かつ、これらの信号のレベルを考慮し、56mAのバイアス電流を採用した。バイアス>56mAの場合、両信号の性能は劣化す

る。バイアス<56mAではベースバンド信号の性能は改善されるが、通話帯域信号の性能は劣化する。通話帯域信号を欠く、即ちベースバンド信号単独の場合、レーザ・バイアスは最適性能を求め〜45.5mAまで減じた。ベースバンド信号を欠く、即ち通話帯域信号単独ではバイアス電流は30mAまで減少した。56mAではベースバンド信号の消光比はITU-T G.983.1における目標値>10dBに代わり6dBであった。この消光比では、結果として受信機感度には下式によって与えられる1dBの光パワー損がもたらされる。

【数1】

$$\Delta P(\text{dB}) = 10 \log \frac{r+1}{r-1} \quad (1)$$

【0037】RF搬送波に対するBERを決定するSNRはと下式によって与えられるはmと不偏分散光電流( $I_{ph}$ )に関係する。

【数2】

$$\text{SNR} = \frac{(mI_{ph})^2}{2B_{eff}(n_{th}^2 + 2qI_{ph} + I_{ph}^2 RIN)} \quad (2)$$

ここで、 $B_{eff}$ は実効搬送波帯域幅であり、 $n_{th}$ は前置増幅器に加えられる受信機の熱雑音電流(通常、5〜10pA/√Hz)である。 $RIN$ はdB/Hzにおける送信機の相対強度雑音で、qは電子の電荷である。分母の第一項は熱雑音であり、第二項は受信機の散弾雑音である。最新型のDFBレーザでは、送信機の $RIN$ は熱雑音と散弾雑音ほど重要ではない。 $I_{ph}$ は受信機で受信した光パワー( $P_{ph}$ )に比例する。(2)式から、光パワー得失1dBは電氣的SNRにおける2dBの得失に対応する。(2)式から、mは受信機感度を増強するためできる限り大きくすべきである。

【0038】レーザからの光信号は20kmの長さを有する従来の単一モード・ファイバ32と1×32光出力スプリッタ33から成る受動的光ネットワーク(PON)に接続した。-7dBの減衰がファイバ内で測定され、出力スプリッタ内部での合計挿入損〜16dBは送信機と受信機相互間の経路損合計23dBをもたらした。受信機35の直前に光減衰器68を使用すると、付加的な経路損が導入され、O/E受信機35への光入力パワーが変化する可能性がある。

【0039】Lucent Microelectronics社の1319モデルO/E受信機は二種の型式のものを採用した。一方のO/E受信機はPINダイオード検出器を備え、他の受信機はAPD検出器を実装していた。受信機はデータ速度2.5Gbpsで動作する設計である。その受信機は1.6GHzの3dB帯域幅を有し、 $10^{-10}$ BERにおいてPINダイオードでは〜24.5dBm、APDでは〜33dBmの2.2Gbpsシステム感度が定格として評価されている。TDMデータ信号とFDMビデオ信号は送信機側でこれ



らの信号を結合すべく用いたダイプレクサ40と同一なダイプレクサ69を用い受信機35の出力から分離した。

【0040】TDMベースバンド信号は視力図とBERに関し検査をした。BERの場合、TDM信号を増幅し、SDHフィルタを介してフィルタ処理した。通話帯域信号は(i)スペクトル分析器のSNRに関し、(ii)DSSセット上ボックス71を使用しテレビジョン受信機のライブ・テレビジョン受信に関し、(iii)860MHz QPSKテスト信号のBER測定値に関し検討した。

【0041】テレビジョン受信の場合、270~770MHz帯域と950~1450MHz帯域における二つの極性は別のダイプレクサ72を用いて分離した。270~770MHz帯域はブロック・アップ・コンバータを介し原初の950~1450MHzに上方変換した。二つのビデオ極性の信号は次いでDSSセット上ボックス(STB)から電圧によって制御するスイッチ74を介しSTBに接続した。STBから受電する13VDCまたは18VDCに従い、スイッチはSTBに対応する極性に接続した。QPSKテスト・チャンネルでのビット誤り率の測定では、ビデオ信号は860MHzの中央周波数に同調させた6MHz帯域フィルタを通過し、次いで増幅され、下方変換されて70MHzになり、次いで復調され、ビット誤り率の測定に備えQPSKモデム67に送られた。

【0042】加入者の中には、ビデオ・サービスのようには通話帯域伝送サービスに関心を示さない者もいる。それらの人達はベースバンド・データ限定した伝送サービス受信の予約をし、経費の安価なベースバンドに限ったONUの利用をする可能性がある。ベースバンド限定のONUとの両立性を検討し、低速データ用広帯域受信機を使用した場合の光パワー損を予測するため、Lucient Microelectronics社の#1330モデル集積化受信機も採用した。これは完全な受信機で、アラーム回路と、データ回路と、クロック復元回路が含まれる。この受信機はデータ速度155.52Mbpsに最適化させる。受信機の制約された帯域幅のため、1330モデルがビデオ信号の合計損を伴うベースバンド・データの受信に唯一採用できるかもしれない。

【0043】各種の受信した光入力パワーに対するPINダイオード受信機1319モデルの出力部におけるベースバンドTDM信号と通話帯域FDM信号のRFスペクトルを図7に示す。曲線(a)、(b)、(c)は入力パワー-20、-28、-32dBmそれぞれに対するスペクトルである。曲線(c)はその時点で散弾雑音とRINがゼロであるため、受信機への光入力パワーを遮断することで測定した受信機の熱雑音をも示す。

【0044】図8に記載するのは受信した光パワー-30、-34、-38dBmに対するAPD受信機の場合

の同じようなRFスペクトルである。図7の-20dBmと、図8の-30dBmにおけるスペクトルはヘッドエンドにおけるものと殆ど同一であり、従って、我々の光システムはいかなる歪みも導入しなかった。テレビジョン受信機でDSSチャンネルを観察することでビデオの集結度はSNR $\geq$ 6dBでは低下しないことが確認された。我々はこの事実をほぼ9dBの利得を与えるDSSが採用するFEDに帰すことにする。SNR<6dBの場合、初期には画像に方形またはタイルがあり、デジタル・テレビジョン信号から予期されるような映像の完全固定または完全喪失する。総てのDSSデジタル搬送波<1GHzではP<sub>o</sub>に対するSNR-6dBはPINダイオード受信機の場合の-32dBm、APD受信機の場合-38dBm程度の小さなものであった。P<sub>o</sub>がさらに減少すると、各SNRは受信機の熱雑音によって品質が低下する。

【0045】通話帯域FDM搬送波のSNRへのベースバンドTDM信号の存在効果を検討するため、図9では975MHz搬送波のSNRを受信した光パワーの関数としてプロットした。TDMデータの存在と共に、あるいはその存在を欠いたPINダイオード受信機とAPD準拠受信機の場合双方に対しデータを提示した。ビデオ限定(即ちベースバンド・データを伴わない)の伝送では、OMIを拡大すべくレーザ・バイアス電流を56mAからさらに適正值である30mAまで減少させた。図9ではベースバンドTDMデータの存在時にビデオの伝送にOMIの縮小による~2dBなる光パワー損の存在が示される。それにも拘わらず、APD受信機では、出力マージンが5dBの出力レベル分類Cにおける1Gb/sより大きなスループットを有する全てのビデオ・チャンネル搬送波を伝送することができる。PINダイオード受信機の場合、システムは受信機が155または622Mbps受信機であると考えられるのであれば、それぞれに準拠し出力マージンを2dB、あるいは4dBとしてG.983に定義した分類Bモードで機能する。

【0046】PINダイオード受信機と、APD準拠受信機の両者の場合の通話帯域FDM信号とベースバンドTDM信号それぞれに対する受信した光パワーの関数としてBER測定値を図10、図11に示す。FDMビデオ・テスト・チャンネルに関し、データをFED符号化をして、またはこれを実行することなくプロットする。ビデオの場合、APD受信機の感度はPINダイオード受信機以上の7~9dBである。両受信機の場合、10<sup>-10</sup>BERではViterbi復号器による7/8畳み込み符号化を採用するとき受信機感度に著しい改善が見られる(PINダイオード受信機では>2.5dB、APD受信機では>3.5dB)。両受信機の場合、(110,96)リード・ソロモン符号化では感度がさらに>2.5dB改善し、その結果、符号化の合計利得はPINダイオード受信機では>5dB、APD受

信機では $>6\text{ dB}$ になる。畳み込み符号化とリード・ソロモンFEC符号化では、 $10^{-10}$  BER感度は、それぞれ、PINダイオード受信機の場合 $-30.3\text{ dBm}$ であり、APD受信機の場合 $-39.3\text{ dBm}$ である。マージンが分類Cに対応する $>6\text{ dB}$ のAPD受信機はQPSKの代わりに16-QAMの採用を認めることができる。これでヘルツ単位における所与の帯域幅に対する伝送ビット速度は二倍になる、あるいは逆に、所与のビット速度に対し受信機の帯域幅はヘルツ単位で50%縮小することになり、従って、受信機の感度と出力マージンは一層増大する。

【0047】図10および図11は、 $10^{-10}$ ビット誤り率に関し、ベースバンドの場合、PINダイオード受信機とAPD受信機の感度はそれぞれ $-29.5\text{ dBm}$ と $-38.5\text{ dBm}$ であることを示す。通話帯域でのときと同様に、APD受信機の場合、システムはマージンが $5.5\text{ dB}$ の分類Cで機能する。PINダイオード受信機のと看、我々のシステムが $622\text{ Mbps}$ まで格上げされたものとするならば、システムはマージンが $1.5\text{ dB}$ の分類Bで機能するが、さもないと $155\text{ Mbps}$  ONUに対応する分類Bの極近傍で機能する。所与の受信機では、ベースバンドに対する感度は適切なFECに従い補正ができる通話帯域伝送の経費で送信レーザのバイアス電流を減らすことによってある程度増強することができる。前文に解説したように、通話帯域伝送のためのQPSKに代えて16-QAMを採用したAPD受信機では受信機に求められる帯域幅が縮小され、従って、受信機感度と利用し得るマージンがさらに拡大される。

【0048】 $155.52\text{ Mbps}$ に対し最適化した1330モデル受信機の場合のBERを図12に記載する。通話帯域をオーバーレイしたときと、そうでない場合のデータを示す。しかし、通話帯域信号はここではTDM信号上の雑音として機能したに過ぎないが、通話帯域信号は1330モデル受信機のフィルタ回路で完全に喪失したためである。レーザのバイアスは同じく $56\text{ mA}$ であり、送信機側には変化は生じなかった。1319モデル受信機と比較し、1330モデル受信機の感度はその帯域幅を最適化したため $6\text{ dB}$ だけ高い。図12の通話帯域を用いたときのデータと、そうでない場合のデータを比較して、雑音またはビデオによって蒙る別な被害のためによるパワー損(約 $0.3\text{ dB}$ )は無視できる程度で、受信機が通話帯域データと共にベースバンド・データを受信するのであればベースバンドに限ったONUの性能は影響されないことが示されることに気が付いた。これはこの受信機と、デジタル・ビット‘1’または‘0’であるときの合計パワーに依存し、瞬時パワーに依存しない決定回路との帯域幅が最適化されているためである。通話帯域をオーバーレイした場合、瞬時パワーに限り変化し、ビットの合計パワー、あるいは平均

パワーは変化しない。このため、通話帯域のオーバーレイはパワー損が無視できるベースバンド限定の受信機と両立する。

【0049】 $155\text{ Mbps}$ ベースバンド・データを受信する#1330モデル受信機と比較したPINダイオード受信機モデル1319モデルの測定した $6\text{ dB}$ 低い感度は大きなデータ速度( $2.5\text{ Gbps}$ )または広帯域幅( $1.6\text{ GHz}$ )に適した受信機設計から期待される感度に一致する。パワー損は前端相互インピーダンス増幅器の帰還抵抗器の減少された抵抗値によって発生する。APDの利得と、帰還抵抗器の最適化した選択を認める相互インピーダンス増幅器へのAPDの依存性が少ないためAPD受信機に対してこのパワー損は示差的に軽減することができる。

【0050】16QAMの使用によって通話帯域の帯域幅が現在の $1.6\text{ GHz}$ から $1\text{ GHz}$ まで、あるいは一層低い値まで縮小されるならば、帰還抵抗器による熱雑音は減少し、O/E受信機の感度は強化されることになる。 $<1\text{ GHz}$ 用RF構成部品は有線テレビジョン、無線通信と他分野の産業に広く使用されているため安価で調達ができる。従って、複雑性、コストおよび帰還抵抗器に関係する熱雑音を軽減するため、通話帯域のオーバーレイは $>1\text{ Gbps}$ スループットを支持してきた $<1\text{ GHz}$ に限定すべきである。これは勿論容易であるが、我々の実験においてさえもスペクトル $<1\text{ GHz}$ 大部分は使用されないためである。

【0051】(i) OMIをできるかぎり大きくすること、(ii) ヘッドエンドから伝送されてきた信号の品質を改善すること、(iii) 単一盤上のダイプレクサを含む総ての受信機構成部品を集積すること、(iv) 必要に応じ、符号化速度を増強することを組合わせたPINダイオード受信機の最適化はシステム性能を改善させることになる。

【0052】提案する技術が $155\text{ Mbps}$ から $622\text{ Mbps}$ への格上げであると考えれば、 $\sim 1.5\text{ dB}$ をもたせたベースバンドと通話帯域での伝送サービスを行うためのB分類動作( $-28\text{ dBm}$ の受信機の感度)の必要条件をPINダイオードを使用した光/O/E受信機35は満たしている。他の点に関しては、その受信機は分類Bの仕様( $-30\text{ dBm}$ 受信機の感度)をまさに満たしている。しかし、通話帯域上での順方向誤り補正(7/8畳み込み符号化とリード・ソロモン符号化)をするベースバンドと通話帯域の双方での伝送のためのC分類動作(即ち、 $10^{-10}$ ビット誤り率に対する受信機感度 $<-33\text{ dBm}$ )に備えマージンを $\sim 5.5\text{ dB}$ としたG.983.1のパワー予算必要条件はAPD準拠の受信機が満たしている。APD受信機の場合の利用し得る光出力マージンは非常に大きいとAPD受信機は分類Cに対するQPSKの代わりに16-QAMの採用と、分類Bの動作に備えた64-QAMの採

用も認めることができる。これは受信機に必要とされる帯域幅を縮小し、かくして、受信機感度を強化し、必要な出力マージンを供与する。ダイプレクサは示差的なパワー損を挿入することない信号の分離に使用する。

【0053】一台の送信機と一台の受信機を用いベースバンド信号と共に同一光ファイバからディジタル変調通話帯域信号の伝送ができることがこれらのテストから示される。本システムは殆どの既存送信装置とベースバンド伝送のパワー割当て（例えば、ITU-T G. 983. 1）を採用することができる。既存の構成部品と両立するほぼ 1. 5 Gbps の伝送速度を達成することができる。この付加的な帯域幅は放送とスイッチ切替のビデオおよび他の帯域幅を求める伝送サービスに利用できる。その付加的な帯域幅は目標帯域幅の専用チャネルを加入者へ提供すべく利用することもできる。提案する技術は示差的な付加コストとパワー損を負わせることなく現在設備されている受動的な光ネットワークを無理せずに格上げもする。加入者がベースバンド・データのための受信を希望し、ビデオまたは他の通話帯域伝送サービスの受信を望まない場合、システムはパワー損が無視できるベースバンド限定のONUに両立する。

【0054】解説してきた実施形態に本発明の精神と範囲から逸脱することなく多くの修正と変更を加え得ることは当該技術に精通した人達にとって明らかであろう。添付の特許請求の範囲に記載するように、種々の変更および修正を行うことができることを理解されたい。

#### 【0055】

定義

頭字語

意味、

APD	アバランシェ光検出装置
BER	ビット誤り率
DSS	ディジタル衛星サービス
FDM	周波数分割多重化
FEC	順方向誤り補正
FTTC	光ファイバ加入者線
FTTH	家庭用光ファイバ通信回線
FDM	周波数分割多重化した
Gbps	毎秒のギガビット数
HDTV	高品位テレビジョン
ITU	国際電気通信連合
LNB	低雑音ブロック
Mbps	毎秒のメガビット数
O/E	光／電
OMD	光変調深度
OMI	光変調指数
ONT	光受信機

ONU

PON

QAM

QPSK

RF

R-S

SNR

STB

TDM

光ネットワーク・ユニット

受動的な光ネットワーク

直角振幅変調

直角位相シフトキー操作

無線周波数

リード・ソロモン符号化

信号対雑音比

セット・トップ・ボックス

時分割多重化

【図面の簡単な説明】

【図1A】ベースバンド通信システムの特徴を解説している。

【図1B】ベースバンド通信システムの特徴を解説している。

【図2A】通話帯域通信システムの特徴を解説している。

【図2B】通話帯域通信システムの特徴を解説している。

【図2C】通話帯域通信システムの特徴を解説している。

【図3】ベースバンドと通話帯域の信号の双方を結合する光通信システムの概略ブロック図である。

【図4】Aは、図3に記載するシステムの送信機の動作解説に便利なもので、関連させて提示した解説グラフである。Bは、図3に記載するシステムの送信機の動作解説に便利なもので、関連させて提示した解説グラフである。Cは、図3に記載するシステムの送信機の動作解説に便利なもので、関連させて提示した解説グラフである。

【図5】図3のシステム用エンドユーザ受信機の概略図である。

【図6】ベースバンドと通話帯域信号の双方を結合するテストシステムの線図である。

【図7】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

【図8】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

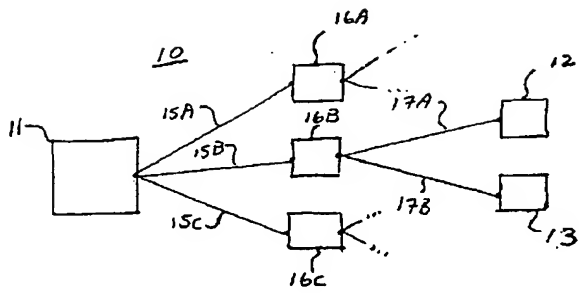
【図9】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

【図10】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

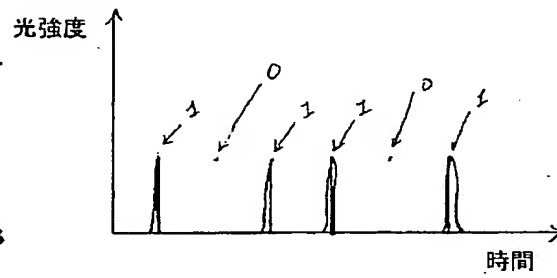
【図11】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

【図12】図6のシステムを用いたテストの結果を示す解説グラフである。

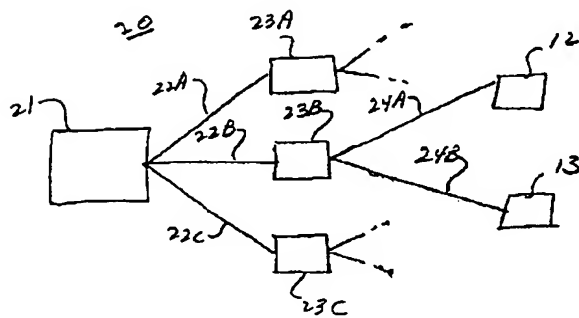
【図 1 A】



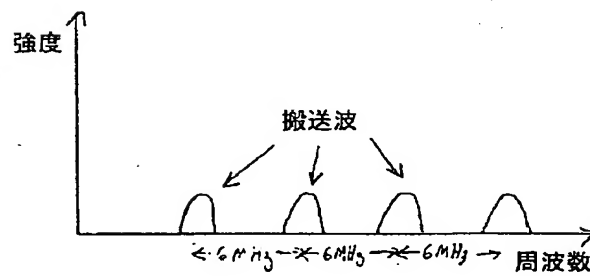
【図 1 B】



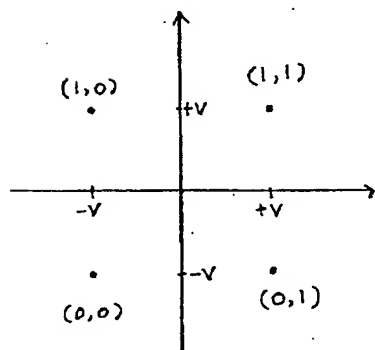
【図 2 A】



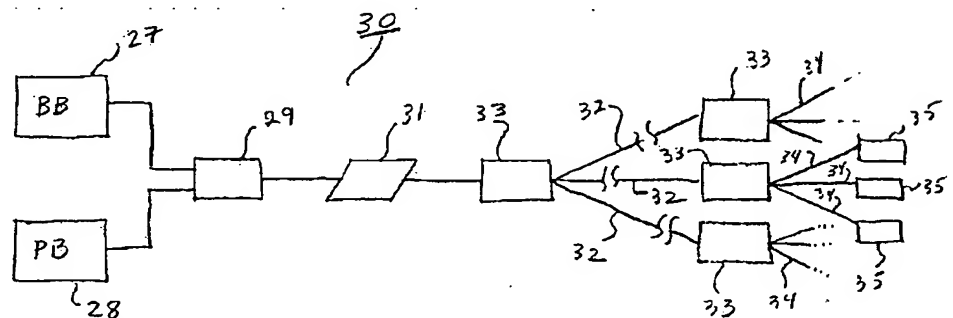
【図 2 B】



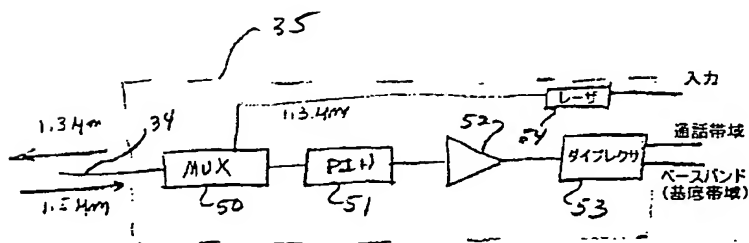
【図 2 C】



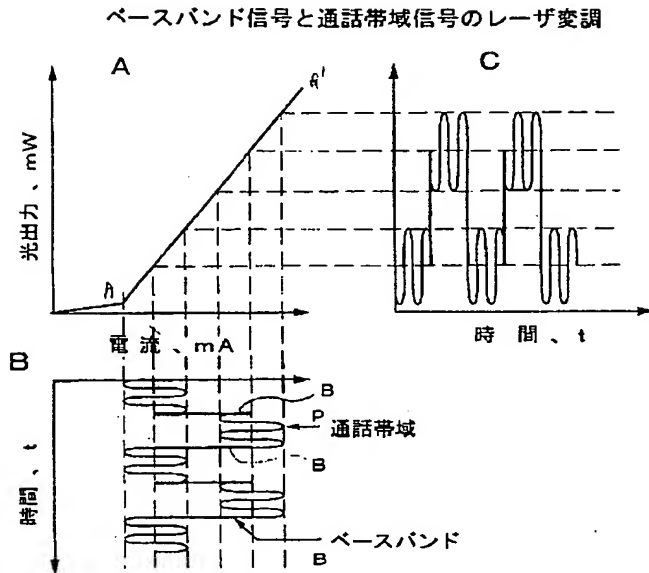
【図 3】



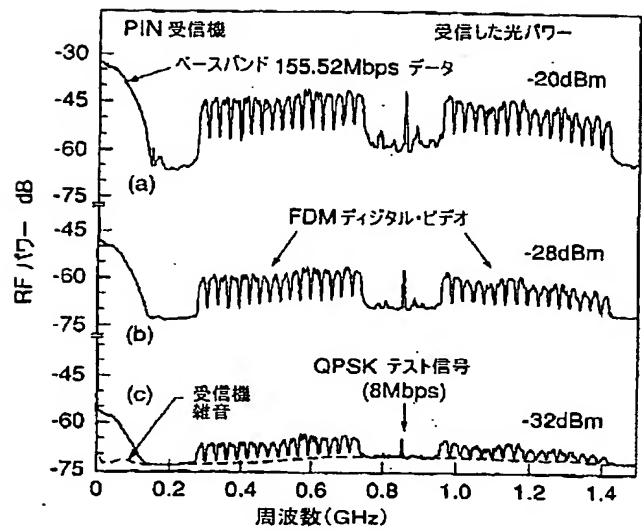
【図 5】



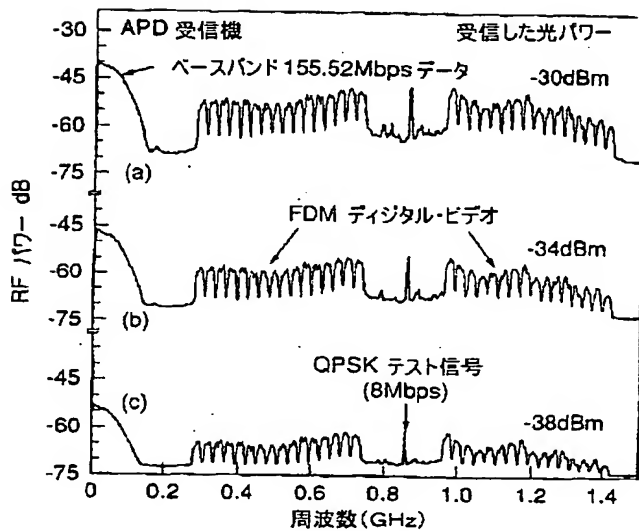
【図 4】



【図 7】

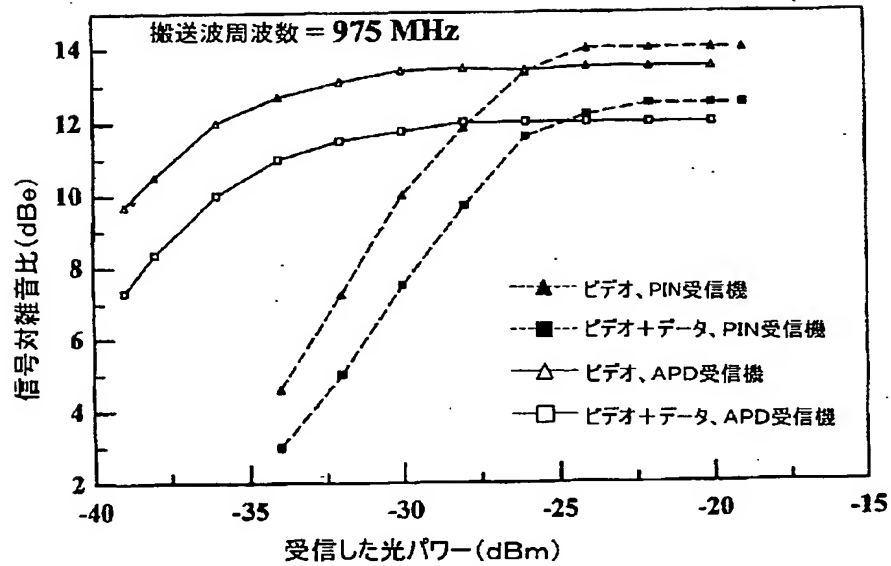


【図 8】

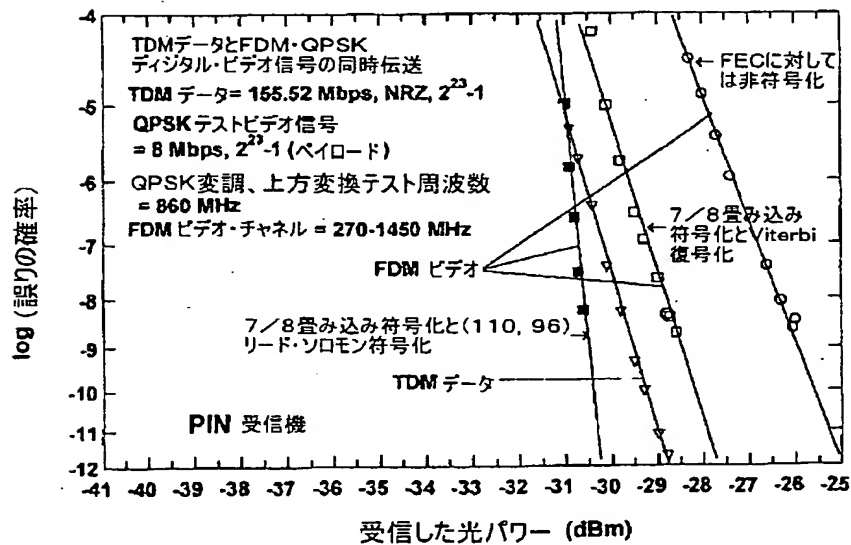




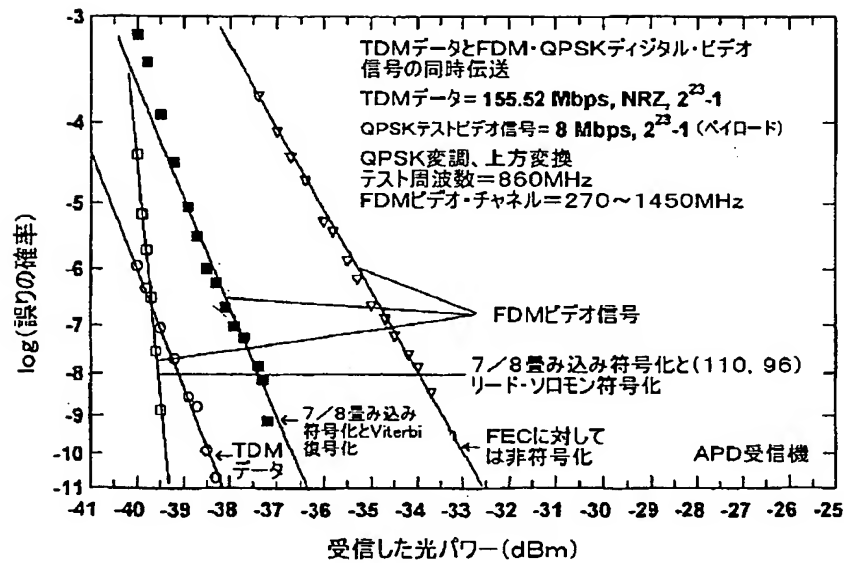
【図 9】



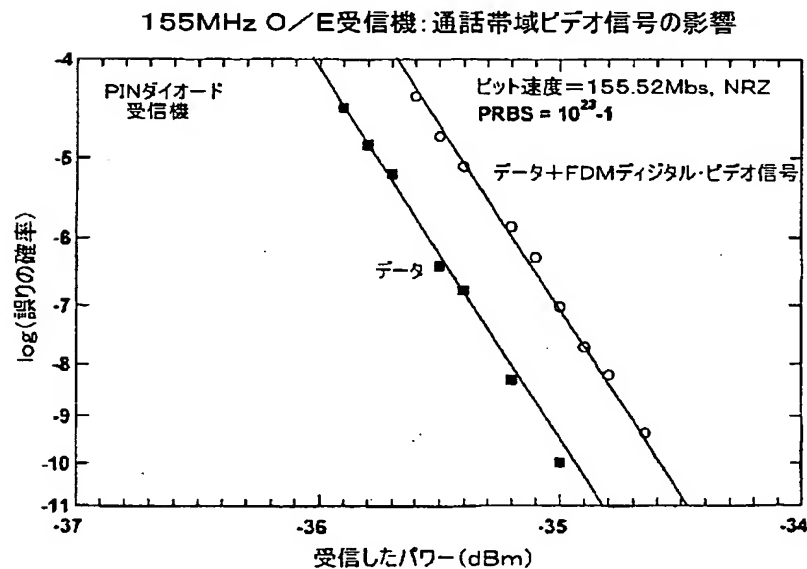
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 トーマス ヘンリー ドゥハーティ  
 アメリカ合衆国 07876 ニュージャージー  
 イ, サッカサンナ, メアリー ドライブ  
 ストリート 18

(72)発明者 ピーター ディ マジル  
 アメリカ合衆国 07728 ニュージャージー  
 イ, フリーホールド, サイカモア アヴェ  
 ニュー 15



(72)発明者 ヴェンカタラマン スワミナサン  
アメリカ合衆国 08807 ニュージャージー  
イ, ブリッジウォーター, ソロモン ドラ  
イヴ 24